

Original document

## **Circuit for self-calibrated impedance measurement of electrical components and analogue circuits**

Publication number: DE19825436

Publication date: 1999-12-09

Inventor: LIU JIGOU (DE); SCHOENECKER ANDREAS (DE)

Applicant: FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)

Classification:

- international: **G01R27/02; G01R35/00; G01R27/02; G01R35/00**; (IPC1-7): G01R27/02

- European:

Application number: DE19981025436 19980529

Priority number(s): DE19981025436 19980529

[View INPADOC patent family](#)

[View list of citing documents](#)

[Report a data error here](#)

### **Abstract of DE19825436**

A test item (1) connected in series with the circuit is supplied from a signal generator (2) and the resultant current transformed into a voltage. An evaluation circuit (9) determines the item impedance from the voltage. A reference impedance (4) is connected in series with the test item using a switching system (3). Impedance measurements are taken with the test item connected and with the test item bypassed to perform a calibration measurement.

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

### **Description of DE19825436**

[Translate this text](#)

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Impedanzmessung nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Aus der Veröffentlichung "Application of Discrete Fourier Transform to Electronic Measurements" von G. Liu et al., IEEE 1997, Seiten 1257 bis 1261, ist eine Impedanzmessanordnung bekannt, bei der eine Wechselingangsspannung an eine keramische Probe als Messobjekt angelegt wird, dem ein Widerstand der als Strom-/Spannungswandler für die Strommessung dient, nachgeschaltet ist. Parallel zu dem Widerstand ist eine Messvorrichtung mit bekannter Eingangsimpedanz vorgesehen. Mit der Messvorrichtung wird die Ausgangswechselspannung gemessen, die einer Fourieranalyse unterzogen wird. Mittels der Grundharmonischen der Ausgangsspannung und unter Heranziehung der Eingangsspannung kann die Übertragungsfunktion des linearen Messsystems bestimmt werden. Der lineare Teil der Impedanz wird unter Verwendung der Übertragungsfunktion und der komplexen

Impedanz des Widerstandes und der Eingangsimpedanz der Messvorrichtung berechnet. Der nichtlinear Teil der Impedanz bzw. der Ausgangsspannung wird über den linearen Teil der Impedanz und unter Verwendung der höheren Harmonischen der Ausgangsspannung bestimmt.

Diese bekannte Messschaltungsanordnung erfüllt grundsätzlich ihre Zwecke in zufriedenstellender Weise; allerdings ist die Kalibrierung der Messschaltung recht aufwendig. Darüber hinaus besteht insbesondere bei Impedanzmessungen elektrischer Werkstoffe bei hohen elektrischen Feldstärken die Gefahr der Beschädigung der Mess- und Auswertvorrichtung im Falle eines fehlerhaften Messobjekts.

Die DE 31 01 994 A1 betrifft eine Messanordnung für reelle Widerstände, die mittels Gleichstrom gemessen werden. Dabei sind drei Messschritte vorgesehen, wobei im ersten Messschritt die Spannung eines Hilfswiderstandes durch Schliessen eines ersten Schalters gemessen wird, im zweiten Schritt die Spannung einer Reihenschaltung aus einem Referenzwiderstand und einem Hilfswiderstand unter Schliessen von einem ersten und einem zweiten Schalter gemessen wird und im dritten Schritt die Ausgangsspannung an einer Reihenschaltung aus dem Messwiderstand und dem Hilfswiderstand unter Schliessen des ersten und eines dritten Schalters gemessen wird. Aus diesen drei Messungen wird der reelle Widerstandswert des Messwiderstandes berechnet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung zur Impedanzmessung elektrischer Komponenten und analoger Schaltungen nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs dahingehend weiterzubilden, dass eine schnelle Kalibrierung möglich ist und die Gefahr der Beschädigung der Messvorrichtung verringert wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die kennzeichnenden Merkmale in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs gelöst.

Dadurch, dass das Messobjekt über eine Schalteranordnung eine Referenzimpedanz in Reihe geschaltet ist, es möglich, in dem einen Schalterzustand eine "Kalibrier"-Messung durchzuführen, bei der das Messobjekt überbrückt wird, und die Ausgangsspannung bei kurzgeschlossenem Messobjekt zu messen. Durch die Auswertung der Messwerte kann die Impedanz der Schaltungsanordnung ohne Messobjekt bestimmt werden. In dem anderen Schalterzustand liegt die Referenzimpedanz direkt in Reihe mit dem Messobjekt. Bei der Auswertung der entsprechenden Messwerte kann die Impedanz des Messsystems ohne Messobjekt berücksichtigt werden, wodurch Phasen- und Amplitudenfehler kompensiert werden. Auf diese Weise ist eine Eigenkalibrierung möglich.

Darüber hinaus bildet die mit dem Messobjekt in Reihe liegende Referenzimpedanz gleichzeitig einen Schutzwiderstand, der seine Funktion dann erfüllt, wenn das Messobjekt fehlerhaft ist und in ihm ein Kurzschluss auftritt. Auf diese Weise wird die nachfolgende Mess- und Auswertvorrichtung geschützt.

Durch die in den Unteransprüchen angegebenen Massnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen möglich.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines eigenkalibrierten Impedanzmesssystems nach der Erfindung,

Fig. 2 eine schaltungsgemässe Ausgestaltung eines ersten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung,

Fig. 3 und 4 die schaltungsgemässe Ausgestaltung eines zweiten und eines dritten Ausführungsbeispiels

der vorliegenden Erfindung.

In Fig. 1 ist ein Blockschaltbild als Prinzipdarstellung einer Schaltungsanordnung zur eigenkalibrierten Impedanzmessung dargestellt, während Fig. 2 eine schaltungsgemäße Ausgestaltung des Messsystems darstellt. Bei der folgenden Erläuterung wird auf beide Figuren Bezug genommen.

Das eigenkalibrierte Impedanzmesssystem besteht aus einem nichteigenkalibrierten Impedanzmesssystem IMS, einer Referenzimpedanz  $Z_r$  bzw. eines Referenzwiderstands 4 und einer Schalteranordnung 3 sowie einem zu messenden Mess- und Prüfobjekt 1 mit der Impedanz  $Z_x$ .

In Fig. 2 ist das Messobjekt 1, das als elektrische Komponente, Widerstand, Kondensator, Sensor, Reaktor usw. oder analoge Schaltung (passive und aktive elektrische und elektronische Schaltungen, z. B. Filter, Verstärker, Netzwerke usw.) ausgebildet ist und die Impedanz  $Z_x$  besitzt, mit dem Ausgang eines Signalgenerators 2 verbunden, der eine Wechselspannung vorgegebener Frequenz liefert. Mit dem Messobjekt ist über die Schalteranordnung 3 die Referenzimpedanz 4 derart verbunden, dass Messobjekt und Referenzimpedanz 4 bei geschlossenem Schalter 5 der Schalteranordnung 3 in Reihe liegen. Im vorliegenden Fall ist die Referenzimpedanz 4 als reeller Widerstand ausgebildet, wodurch die Berechnung vereinfacht und eine hohe Messgenauigkeit realisiert werden kann, wobei die Phasenreferenz null ist.

Der Ausgang des Signalgenerators 2 ist über eine Überbrückungsleitung, in der sich ein weiterer Schalter der Schalteranordnung 3 befindet, direkt mit der Referenzimpedanz 4 verbindbar. Die Schalter 5, 6 der Schalteranordnung 3 sind so miteinander gekoppelt, dass bei geschlossenem Zustand des einen Schalters der andere offen ist und umgekehrt.

Nach der Referenzimpedanz 4 ist ein Widerstand 7 nach Masse geschaltet, der als Strom-Spannungswandler wirkt; die an dem Widerstand 7 abfallende Ausgangswechselspannung wird von einem Spannungsmessgerät 8 gemessen, das bei einem diskreten Messaufbau beispielsweise als Digitaloszilloskop ausgebildet sein kann. Diese Ausgangsspannung liegt an einem ersten Kanal des Messgerätes 8 an, während ein zweiter Kanal des Messgerätes die Eingangswechselspannung der Schaltungsanordnung misst, das heißt mit dem Ausgang des Signalgenerators 2 verbunden ist. Das Messgerät 8 ist mit einer Steuer- und Auswerteeinheit 9 verbunden, die beispielsweise als Mikrocomputer ausgebildet ist. Von der Auswerteeinheit 9, die mit dem Signalgenerator 2 gleichfalls verbunden ist, geht eine Steuerleitung zu der Schalteranordnung 3. Das nichteigenkalibrierte Impedanzmesssystem IMS nach Fig. 1 wird durch den Signalgenerator 2, das Digitaloszilloskop 8 mit zwei Kanälen und die Steuer- und Auswerteeinheit 9 gebildet.

Die Funktionsweise des Impedanzmesssystems nach Fig. 1 und Fig. 2 ist wie folgt. Für eine Kalibrierung der Schaltungsanordnung zur Messung der Impedanz steuert die Steuer- und Auswerteeinheit 9 die Schalteranordnung 3 derart an, dass der Schalter 5 offen ist und der Schalter 6 geschlossen ist. Dadurch wird das Messobjekt 1 kurzgeschlossen, das heißt es wird die Impedanz des Systems ohne Messobjekt bestimmt, wobei die am Widerstand 7 liegende Ausgangswechselspannung und die Eingangswechselspannung am Messgerät 8 gemessen werden. Die Auswertung der Spannungssignale wird von der Auswerteeinheit 9 vorgenommen, die unter Verwendung der diskreten Fourieranalyse die Impedanz bzw. Phase und Amplitude bestimmt. Es wird hier ausdrücklich auf die Offenbarung der oben erwähnten Veröffentlichung Bezug genommen, die zu dem Offenbarungsgehalt der vorliegenden Erfindung hinzuzurechnen ist. Das dort beschriebene Berechnungsverfahren wird analog angewandt.

In der Prinzipausführung nach Fig. 1 wird bei geschlossenem Schalter 6 und offenem Schalter 5 eine "Null-Impedanz", die als Masse gezeigt wird, mit dem Eingang des Additionsoptors verbunden. In diesem Fall wird die Referenzimpedanz  $Z_r$  durch das Impedanzmesssystem IMS gemessen. Der Messwert wird als  $Z_0$  bezeichnet.

Nach Messung der Impedanz ohne Messobjekt 1 schaltet die Steuer- und Auswerteeinheit 9 die Schalter 6 der Schalteranordnung 3 um, so dass nunmehr die Ausgangsschaltspannung mit Messobjekt 1 gemessen wird, das heisst die Impedanz  $Z_x$  des Messobjekts 1 wird mit der Impedanz  $Z_r$  der Referenzimpedanz  $Z$ , hier des Referenzwiderstandes 4 addiert und die addierte Impedanz  $Z_x$  und  $Z_r$  wird durch das Impedanzmesssystem gemessen. Der Messwert wird mit  $Z_{orx}$  bezeichnet. Diese Messwerte werden in der Auswerteeinheit 9 so ausgewertet, dass die Impedanz des Messobjektes 1 unter Berücksichtigung der durch den ersten Messvorgang gemessenen Amplituden- und Phasenfehler bestimmt wird.

Das Messergebnis wird dann anhand der Messwerte  $Z_{or}$  und  $Z_{orx}$  sowie der Referenzimpedanz  $Z_r$  gemäss (1) berechnet.

- $Z_{or} = kZ_r$  (Kalibrierung)

- $Z_{orx} = k(Z_r + Z_x)$  (Messung)

- $Z_x = Z_r(Z_{orx} - Z_{or})/Z_{or}$  (Berechnung) (1).

Hier wird das nichteigenkalibrierte Impedanzmesssystem IMS als ein lineares System betrachtet. Für ein lineares Messsystem ist der Zusammenhang zwischen der Impedanz  $Z_i$  des Messobjektes 1 und dem Messwert  $Z_o$  auch linear, das heisst,  $Z_o = kZ_i$ . Die Linearisierung des Messsystems kann unter bestimmten Messbedingungen realisiert werden.

Die relative Messabweichung des Messverfahrens  $E_x$  kann gemäss der Definition und Gleichung (1) abgeleitet und durch Gleichung (2) geschrieben werden.

EMI8.1

Durch Einführung von (1) in (2) bestimmt sich  $E_x$  zu:

EMI8.2

Hier bedeuten

$E_{mr}$ : die relative Messabweichung der Messgrösse  $(Z_r + Z_x)$ ,

EMI8.3

( $Z_{orx}$ : der Messwert von der Gesamtgrösse  $(Z_r + Z_x)$   $Z_r + Z_x$ : der Istwert der Gesamtgrösse, der durch anderes Präzisionsmessgerät bestimmt werden muss)

$E_{mr}$ : die relative Messabweichung der Messgrösse  $Z_r$ ,

EMI8.4

( $Z_{or}$ : der Messwert von der Referenz  $Z_r$ ,  $Z_r$ : der Sollwert der Referenz)

$E_r$ : die relative Abweichung der Referenzimpedanz  $Z_r$ ,

EMI8.5

( $Z^*/r$ : der Eichwert der Referenzimpedanz  $Z_r$ ,  $Z_r$ : der Sollwert der Referenz)

Wenn  $E_{mr} = E_{mr}$  ist  $E_x = E_r$ . Das bedeutet, dass die relative Messabweichung nur abhängig von der relativen Abweichung der Referenzimpedanz  $Z_r$  ist unter der Bedingung, dass die Messabweichung des nichteigenkalibrierten Impedanzmesssystems IMS bei den Kalibrierungs- und Messvorgängen konstant bleibt. Diese Bedingung ist nur für lineare Messsysteme erfüllbar. Deshalb muss das Messsystem unter bestimmten Messbedingungen linearisiert werden.

Die Messbedingungen müssen so bestimmt werden, dass die Messabweichung des nichteigenkalibrierte Impedanzmesssystems IMS bei den Kalibrierungs- und Messvorgängen möglichst konstant bleibt. Diese Bedingungen können durch Änderung des Widerstands 7 und des Referenzwiderstands 4 realisiert werden. Dabei sind die Messabweichungen abhängig von den Messbedingungen. Es wurde gefunden, dass bei folgender Beziehung zwischen dem Messobjekt  $Z_x$  und der Referenzimpedanz  $Z_r$  sowie dem Wert  $R_o$  d Widerstandes 7 für eine präzise Impedanzmessung erfüllt werden:

$$R_r \text{ APPROX } \langle \text{SEP} \rangle Z_x \langle \text{SEP} \rangle > 10 R_o \quad (4),$$

wobei  $\langle \text{SEP} \rangle Z_x \langle \text{SEP} \rangle$  als der Betrag der Impedanz des Messobjekts bezeichnet wird. Hier bedeutet die Bedingung  $\langle \text{SEP} \rangle Z_x \langle \text{SEP} \rangle > 10 R_o$  eine Linearisierung für das nichteigenkalibrierte Impedanzmesssystem IMS, d. h. für eine sichere und genaue Messung sollte der reelle Widerstand der Referenzimpedanz 4 grösser als der Widerstand 7 sein und der Betrag der Impedanz des Messobjekts 1 sollte grösser als der reelle Widerstand der Referenzimpedanz 4 sein und beispielsweise 10 : 1 betragen.

Falls das Messobjekt 1 fehlerhaft ist und beispielsweise kurzgeschlossen wird, dient die Referenzimpedanz 4 als Schutzwiderstand, so dass die nachgeschaltete Mess- und Auswertvorrichtung 8, 9 nicht beschädigt wird und gleichzeitig festgestellt werden kann, dass das Messobjekt 1 fehlerhaft ist.

Um die Messbedingungen, wie oben erwähnt, optimieren zu können, kann die Messung bei unterschiedlichen Frequenzen durchgeführt werden, wobei der Widerstand 7 veränderlich ausgebildet sein kann. Der Widerstandswert kann dann an die gewünschte Messspannung und -frequenz angepasst werden.

In Fig. 3 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der Schaltungsanordnung zur Messung der Impedanz dargestellt, wobei dieses Ausführungsbeispiel für die Impedanzmessung elektrischer Werkstoffe bei hohen elektrischen Feldstärken geeignet ist. Diese Schaltung unterscheidet sich zu der nach Fig. 2 dadurch, dass das vom Signalgenerator 2 gelieferte Wechselspannungssignal in einem Verstärker 10 verstärkt wird und die höhere Eingangswechselspannung dem Messobjekt 1 zugeführt wird. Ausserdem ist in der Verbindungsleitung zwischen Verstärker 11 und dem Messgerät 8, über die die Eingangswechselspannung auf den zweiten Kanal des Messgeräts 8 gegeben wird, ein Spannungsteiler 12 geschaltet, der die vom Verstärker 11 gelieferte hohe Spannung entsprechend herunterteilt, damit das Messgerät 8 nicht beschädigt wird. Der Verstärker 11 hat keinen Einfluss auf die Messergebnisse. Die Übertragungsfunktion des Spannungsteilers 12 kann vor der Messung geändert werden, um die besten Messbedingungen realisieren zu können, weil der Verstärkungsfaktor fest bzw. stufig ist. Ansonsten ist die Funktionsweise der Schalteranordnung nach Fig. 3 gleich der nach Fig. 2.

In Fig. 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel dargestellt. Dieses Beispielsystem enthält keinen Spannungsteiler, damit die Struktur des Messsystems vereinfacht werden kann. Der Einfluss des Verhältnisses vom Verstärker 11 auf die Messergebnisse wird durch die Eigenkalibrierung kompensiert. Hier ist die Schalteranordnung 3 als digitale Schaltung zum Beispiel als Multiplexer ausgebildet.

Die dargestellten Schaltungsanordnungen können diskret aufgebaut werden, es ist jedoch auch möglich, dass sie zum Bestandteil einer integrierten Schaltung gemacht werden, so dass ein Chip, das das Messobjekt 1 umfasst, eine "Built-in"-Prüfschaltung zur Messung der Impedanz mit Eigenkalibrierung aufweist. Dabei kann die Schalteranordnung 3 beispielsweise als logische Schaltung aufgebaut sein.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Claims of DE19825436

Translate this text

1. Schaltungsanordnung zur Impedanzmessung elektrischer Komponenten und analoger Schaltungen als Messobjekt mit einem Signalgenerator zur Erzeugung einer Eingangsspannung, mit der das Messobjekt gespeist wird, einem Strom-/Spannungswandler, der den durch das Messobjekt fließenden Strom in eine Ausgangsspannung umwandelt und einer Mess-, Steuer- und Auswertevorrichtung, die die Ausgangsspannung erfasst und abhängig von dieser die Impedanz bestimmt, dadurch gekennzeichnet, dass in Reihe mit dem Messobjekt (1) über eine Schalteranordnung (3) eine Referenzimpedanz (4) geschaltet ist, wobei die Schalteranordnung (3) einerseits die Referenzimpedanz (4) mit dem Messobjekt (1) verbindet und andererseits das Messobjekt überbrückt.
2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzimpedanz (4) ein reeller Widerstand ist.
3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Strom-/Spannungswandler (7) ein reeller Widerstand ist.
4. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Messobjekt (1) ein elektrokeramisches, elektrisches Bauelement oder eine elektrische Baugruppe ist.
5. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Mess- und Auswertevorrichtung (8, 9) die Impedanz bei überbrücktem Messobjekt (1) bestimmt und diese bei der Auswertung für die Impedanz des Messobjekts (1) berücksichtigt.
6. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Messvorrichtung (8) die Eingangsspannung misst.
7. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bestimmung der Impedanz des Messobjekts (1) die Ausgangs- und/oder die Eingangsspannung einer diskreten Fourieranalyse unterzogen wird.
8. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass dem Signalgenerator (2) ein Verstärker (11) zugeordnet ist.
9. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalteranordnung (3) als logische Schaltung ausgebildet ist.
10. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalteranordnung (3) von der Mess-, Steuer- und Auswertevorrichtung (8, 9) steuerbar ist.
11. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass sie zusammen mit dem Messobjekt (1) in einer integrierten Schaltung oder auf einem Chip integriert ist.
12. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzimpedanz (4) gleichzeitig als Schutzwiderstand für die Mess-, Steuer- und Auswertevorrichtung bei fehlerhaftem Messobjekt dient.

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide.



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 25 436 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 R 27/02**

⑳ Aktenzeichen: 198 25 436.9  
㉔ Anmeldetag: 29. 5. 98  
㉕ Offenlegungstag: 9. 12. 99

DE 198 25 436 A 1

㉑ Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE  
  
㉒ Vertreter:  
PFENNING MEINIG & PARTNER GbR, 10707 Berlin

㉓ Erfinder:  
Liu, Jigou, Dr.-Ing., 01069 Dresden, DE; Schönecker,  
Andreas, Dr.rer.nat., 01705 Freital, DE

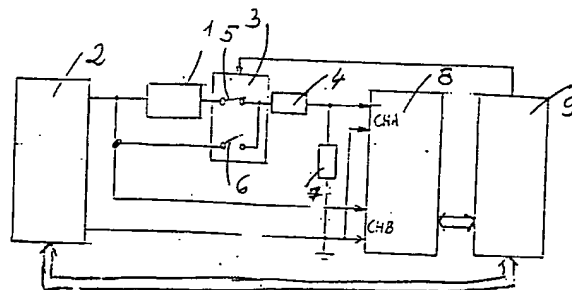
㉔ Entgegenhaltungen:  
DE 41 01 994 A1  
LUI, J.G. (u.a.): Application of Discrete  
fourier transform to electronic measurements,  
In: international conference on information,  
communications and signal processing ICICS  
1997, 9.12.09.1997, Singapore, Tagungsband,  
S. 1257-1261;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉕ Schaltungsanordnung zur eigenkalibrierten Impedanzmessung

㉖ Es wird eine Schaltungsanordnung zur eigenkalibrierten Impedanzmessung elektrischer Komponenten und analoger Schaltungen als Meßobjekt vorgeschlagen, die einen Signalgenerator zur Erzeugung einer Eingangsspannung, mit der das Meßobjekt gespeist wird, einen Strom-/Spannungswandler, der den durch das Meßobjekt fließenden Strom in eine Ausgangsspannung umwandelt und eine Meß-, Steuer- und Auswertevorrichtung, die die Ausgangsspannung erfaßt und abhängig von dieser die Impedanz bestimmt, aufweist. In Reihe mit dem Meßobjekt ist über eine Schalteranordnung eine Referenzimpedanz geschaltet, wobei die Schalteranordnung einerseits die Referenzimpedanz mit dem Meßobjekt verbindet und andererseits das Meßobjekt überbrückt.



DE 198 25 436 A 1

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Impedanzmessung nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Aus der Veröffentlichung "Application of Discrete Fourier Transform to Electronic Measurements" von J. G. Liu et al., IEEE 1997, Seiten 1257 bis 1261, ist eine Impedanzmeßanordnung bekannt, bei der eine Wechselspannung an eine keramische Probe als Meßobjekt angelegt wird, dem ein Widerstand der als Strom-/Spannungswandler für die Strommessung nachgeschaltet ist. Parallel zu dem Widerstand ist eine Meßvorrichtung mit bekannter Eingangsimpedanz vorgesehen. Mit der Meßvorrichtung wird die Ausgangsspannung gemessen, die einer Fourieranalyse unterzogen wird. Mittels der Grundharmonischen der Ausgangsspannung und unter Heranziehung der Eingangswechselspannung kann die Übertragungsfunktion des linearen Meßsystems bestimmt werden. Der lineare Teil der Impedanz wird unter Verwendung der Übertragungsfunktion und der komplexen Impedanz des Widerstandes und der Eingangsimpedanz der Meßvorrichtung berechnet. Der nichtlineare Teil der Impedanz bzw. der Ausgangsspannung wird über den linearen Teil der Impedanz und unter Verwendung der höheren Harmonischen der Ausgangsspannung bestimmt.

Diese bekannte Meßschaltungsanordnung erfüllt grundsätzlich ihre Zwecke in zufriedenstellender Weise, allerdings ist die Kalibrierung der Meßschaltung recht aufwendig. Darüber hinaus besteht insbesondere bei Impedanzmessungen elektrischer Werkstoffe bei hohen elektrischen Feldstärken die Gefahr der Beschädigung der Meß- und Auswertvorrichtung im Falle eines fehlerhaften Meßobjekts.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung zur Impedanzmessung elektrischer Komponenten und analoger Schaltungen nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs dahingehend weiterzubilden, daß eine schnelle Kalibrierung möglich ist und die Gefahr der Beschädigung der Meßvorrichtung verringert wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs gelöst.

Dadurch, daß das Meßobjekt über eine Schalteranordnung eine Referenzimpedanz in Reihe geschaltet ist, ist es möglich, in dem einen Schalterzustand eine "Kalibrier"-Messung durchzuführen, bei der das Meßobjekt überbrückt wird, und die Ausgangsspannung bei kurzgeschlossenem Meßobjekt zu messen. Durch die Auswertung der Meßwerte kann die Impedanz der Schaltungsanordnung ohne Meßobjekt bestimmt werden. In dem anderen Schalterzustand liegt die Referenzimpedanz direkt in Reihe mit dem Meßobjekt. Bei der Auswertung der entsprechenden Meßwerte kann die Impedanz des Meßsystems ohne Meßobjekt berücksichtigt werden, wodurch Phasen- und Amplitudenfehler kompensiert werden. Auf diese Weise ist eine Eigenkalibrierung möglich.

Darüber hinaus bildet die mit dem Meßobjekt in Reihe liegende Referenzimpedanz gleichzeitig einen Schutzwiderstand, der seine Funktion dann erfüllt, wenn das Meßobjekt fehlerhaft ist und in ihm ein Kurzschluß auftritt. Auf diese Weise wird die nachfolgende Meß- und Auswertvorrichtung geschützt.

Durch die in den Unteransprüchen angegebenen Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen möglich.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** ein Blockschaltbild eines eigenkalibrierten Impedanzmeßsystems nach der Erfindung,

**Fig. 2** eine schaltungsgemäße Ausgestaltung eines ersten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung,

**Fig. 3** und **4** die schaltungsgemäße Ausgestaltung eines zweiten und eines dritten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung.

In **Fig. 1** ist ein Blockschaltbild als Prinzipdarstellung einer Schaltungsanordnung zur eigenkalibrierten Impedanzmessung dargestellt, während **Fig. 2** eine schaltungsgemäße Ausgestaltung des Meßsystems darstellt. Bei der folgenden Erläuterung wird auf beide Figuren Bezug genommen.

Das eigenkalibrierte Impedanzmeßsystem besteht aus einem nichteigenkalibrierten Impedanzmeßsystem IMS, einer Referenzimpedanz  $Z_r$  bzw. eines Referenzwiderstands **4** und einer Schalteranordnung **3** sowie einem zu messenden Meß- und Prüfobjekt **1** mit der Impedanz  $Z_x$ .

In **Fig. 2** ist das Meßobjekt **1**, das als elektrische Komponente, Widerstand, Kondensator, Sensor, Reaktor usw. oder analoge Schaltung (passive und aktive elektrische und elektronische Schaltungen, z. B. Filter, Verstärker, Netzwerke usw.) ausgebildet ist und die Impedanz  $Z_x$  besitzt, mit dem Ausgang eines Signalgenerators **2** verbunden, der eine Wechselspannung vorgegebener Frequenz liefert. Mit dem Meßobjekt ist über die Schalteranordnung **3** die Referenzimpedanz **4** derart verbunden, daß Meßobjekt **1** und Referenzimpedanz **4** bei geschlossenem Schalter **5** der Schalteranordnung **3** in Reihe liegen. Im vorliegenden Fall ist die Referenzimpedanz **4** als reeller Widerstand ausgebildet, wodurch die Berechnung vereinfacht und eine hohe Meßgenauigkeit realisiert werden kann, wobei die Phasenreferenz null ist.

Der Ausgang des Signalgenerators **2** ist über eine Überbrückungsleitung **7**, in der sich ein weiterer Schalter **6** der Schalteranordnung **3** befindet, direkt mit der Referenzimpedanz **4** verbindbar. Die Schalter **5**, **6** der Schalteranordnung **3** sind so miteinander gekoppelt, daß bei geschlossenem Zustand des einen Schalters der andere offen ist und umgekehrt.

Nach der Referenzimpedanz **4** ist ein Widerstand **7** nach Masse geschaltet, der als Strom-Spannungswandler wirkt; die an dem Widerstand **7** abfallende Ausgangsspannung wird von einem Spannungsmessgerät **8** gemessen, das bei einem diskreten Meßaufbau beispielsweise als Digitaloszilloskop ausgebildet sein kann. Diese Ausgangsspannung liegt an einem ersten Kanal des Meßgeräts **8** an, während ein zweiter Kanal des Meßgeräts die Eingangswechselspannung der Schaltungsanordnung mißt, das heißt mit dem Ausgang des Signalgenerators **2** verbunden ist. Das Meßgerät **8** ist mit einer Steuer- und Auswerteeinheit **9** verbunden, die beispielsweise als Mikrocomputer ausgebildet ist. Von der Auswerteeinheit **9**, die mit dem Signalgenerator **2** gleichfalls verbunden ist, geht eine Steuerleitung zu der Schalteranordnung **3**. Das nichteigenkalibrierte Impedanzmeßsystem IMS nach **Fig. 1** wird durch den Signalgenerator **2**, das Digitaloszilloskop **8** mit zwei Kanälen und die Steuer- und Auswerteeinheit **9** gebildet.

Die Funktionsweise des Impedanzmeßsystems nach **Fig. 1** und **Fig. 2** ist wie folgt. Für eine Kalibrierung der Schaltungsanordnung zur Messung der Impedanz steuert die Steuer- und Auswerteeinheit **9** die Schalteranordnung **3** derart an, daß der Schalter **5** offen ist und der Schalter **6** geschlossen ist. Dadurch wird das Meßobjekt **1** kurzgeschlossen, das heißt



es wird die Impedanz des Systems ohne Meßobjekt bestimmt, wobei die am Widerstand 7 liegende Ausgangsschwellspannung und die Eingangsschwellspannung am Meßgerät 8 gemessen werden. Die Auswertung der Spannungssignale wird von der Auswerteeinheit 9 vorgenommen, die unter Verwendung der diskreten Fourieranalyse die Impedanz bzw. Phase und Amplitude bestimmt. Es wird hier ausdrücklich auf die Offenbarung der oben erwähnten Veröffentlichung Bezug genommen, die zu dem Offenbarungsgehalt der vorliegenden Erfindung hinzuzurechnen ist. Das dort beschriebene Berechnungsverfahren wird analog angewandt. 5

In der Prinzipausführung nach Fig. 1 wird bei geschlossenem Schalter 6 und offenem Schalter 5 eine "Null-Impedanz", die als Masse gezeigt wird, mit dem Eingang des Additionsooperators verbunden. In diesem Fall wird die Referenzimpedanz  $Z_r$  durch das Impedanzmeßsystem IMS gemessen. Der Meßwert wird als  $Z_{or}$  bezeichnet. 10

Nach Messung der Impedanz ohne Meßobjekt 1 schaltet die Steuer- und Auswerteeinheit 9 die Schalter 5, 6 der Schalteranordnung 3 um, so daß nunmehr die Ausgangsschwellspannung mit Meßobjekt 1 gemessen wird, das heißt die Impedanz  $Z_x$  des Meßobjektes 1 wird mit der Impedanz  $Z_r$  der Referenzimpedanz  $Z_r$  hier des Referenzwiderstandes 4 addiert und die addierte Impedanz  $Z_x$  und  $Z_r$  wird durch das Impedanzmeßsystem gemessen. Der Meßwert wird mit  $Z_{orx}$  bezeichnet. Diese Meßwerte werden in der Auswerteeinheit 9 so ausgewertet, daß die Impedanz des Meßobjektes 1 unter Berücksichtigung der durch den ersten Meßvorgang gemessenen Amplituden- und Phasenfehler bestimmt wird. 15

Das Meßergebnis wird dann anhand der Meßwerte  $Z_{or}$  und  $Z_{orx}$  sowie der Referenzimpedanz  $Z_r$  gemäß (1) berechnet. 20

- $Z_{or} = kZ_r$  (Kalibrierung)
- $Z_{orx} = k(Z_r + Z_x)$  (Messung)
- $Z_x = Z_r(Z_{orx} - Z_{or})/Z_{or}$  (Berechnung) (1).

Hier wird das nichteigenkalibrierte Impedanzmeßsystem IMS als ein lineares System betrachtet. Für ein lineares Meßsystem ist der Zusammenhang zwischen der Impedanz  $Z_i$  des Meßobjektes 1 und dem Meßwert  $Z_o$  auch linear, das heißt,  $Z_o = kZ_i$ . Die Linearisierung des Meßsystems kann unter bestimmten Meßbedingungen realisiert werden. 25

Die relative Meßabweichung des Meßverfahrens  $E_x$  kann gemäß der Definition und Gleichung (1) abgeleitet und durch Gleichung (2) geschrieben werden. 30

$$E_x = \frac{\Delta Z_x}{Z_x}, \quad \text{mit} \quad \Delta Z_x = \frac{\partial Z_x}{\partial Z_r} \Delta Z_r + \frac{\partial Z_x}{\partial Z_{orx}} \Delta Z_{orx} + \frac{\partial Z_x}{\partial Z_{or}} \Delta Z_{or} \quad (2)$$

Durch Einführung von (1) in (2) bestimmt sich  $E_x$  zu:

$$E_x = \frac{Z_{orx}}{Z_{orx} - Z_{or}} (E_{mr} - E_{mr}) + E_r \quad (3)$$

Hier bedeuten  
 $E_{mr}$ : die relative Meßabweichung der Meßgröße  $(Z_r + Z_x)$ , 40

$$E_{mr} = \frac{\Delta Z_{orx}}{Z_{orx}} = \frac{Z_{orx} - Z_r - Z_x}{Z_r + Z_x}$$

( $Z_{orx}$ : der Meßwert von der Gesamtgröße  $(Z_r + Z_x)$ ) 45

$Z_r + Z_x$ : der Istwert der Gesamtgröße, der durch ein anderes Präzisionsmeßgerät bestimmt werden muß)

$E_{mr}$ : die relative Meßabweichung der Meßgröße  $Z_r$ ,

$$E_{mr} = \frac{\Delta Z_{or}}{Z_{or}} = \frac{Z_{or} - Z_r}{Z_r}$$

( $Z_{or}$ : der Meßwert von der Referenz  $Z_r$ ,  $Z_r$ : der Sollwert der Referenz) 50

$E_r$ : die relative Abweichung der Referenzimpedanz  $Z_r$ ,

$$E_r = \frac{\Delta Z_r}{Z_r} = \frac{Z_r - Z_r^*}{Z_r^*}$$

( $Z_r^*$ : der Eichwert der Referenzimpedanz  $Z_r$ ,  $Z_r$ : der Sollwert der Referenz) 55

Wenn  $E_{mr} = E_{mr}$  ist  $E_x = E_r$ . Das bedeutet, daß die relative Meßabweichung nur abhängig von der relativen Abweichung der Referenzimpedanz  $Z_r$  ist unter der Bedingung, daß die Meßabweichung des nichteigenkalibrierten Impedanzmeßsystems IMS bei den Kalibrierungs- und Meßvorgängen konstant bleibt. Diese Bedingung ist nur für lineare Meßsysteme erfüllbar. Deshalb muß das Meßsystem unter bestimmten Meßbedingungen linearisiert werden. 60

Die Meßbedingungen müssen so bestimmt werden, daß die Meßabweichung des nichteigenkalibrierten Impedanzmeßsystems IMS bei den Kalibrierungs- und Meßvorgängen möglichst konstant bleibt. Diese Bedingungen können durch Änderung des Widerstands 7 und des Referenzwiderstandes 4 realisiert werden. Dabei sind die Meßabweichungen abhängig von den Meßbedingungen. Es wurde gefunden, daß bei folgender Beziehung zwischen dem Meßobjekt  $Z_x$  und der Referenzimpedanz  $Z_r$  sowie dem Wert  $R_0$  des Widerstandes 7 für eine präzise Impedanzmessung erfüllt werden: 65

$$R_r \approx |Z_x| > 10 R_0 \quad (4),$$

wobei  $|Z_x|$  als der Betrag der Impedanz des Meßobjekts bezeichnet wird. Hier bedeutet die Bedingung  $|Z_x| > 10 R_0$  eine Linearisierung für das nichteigenkalibrierte Impedanzmeßsystem IMS, d. h. für eine sichere und genaue Messung sollte der reelle Widerstand der Referenzimpedanz 4 größer als der Widerstand 7 sein und der Betrag der Impedanz des Meßobjekts 1 sollte größer als der reelle Widerstand der Referenzimpedanz 4 sein und beispielsweise 10 : 1 betragen.

Falls das Meßobjekt 1 fehlerhaft ist und beispielsweise kurzgeschlossen wird, dient die Referenzimpedanz 4 als Schutzwiderstand, so daß die nachgeschaltete Meß- und Auswertevorrichtung 8, 9 nicht beschädigt wird und gleichzeitig festgestellt werden kann, daß das Meßobjekt 1 fehlerhaft ist.

Um die Meßbedingungen, wie oben erwähnt, optimieren zu können, kann die Messung bei unterschiedlichen Frequenzen durchgeführt werden, wobei der Widerstand 7 veränderlich ausgebildet sein kann. Der Widerstandswert kann dann an die gewünschte Meßspannung und -frequenz angepaßt werden.

In Fig. 3 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der Schaltungsanordnung zur Messung der Impedanz dargestellt, wobei dieses Ausführungsbeispiel für die Impedanzmessung elektrischer Werkstoffe bei hohen elektrischen Feldstärken geeignet ist. Diese Schaltung unterscheidet sich zu der nach Fig. 2 dadurch, daß das vom Signalgenerator 2 gelieferte Wechselspannungssignal in einem Verstärker 10 verstärkt wird und die höhere Eingangsspannung dem Meßobjekt 1 zugeführt wird. Außerdem ist in der Verbindungsleitung zwischen Verstärker 11 und dem Meßgerät 8, über die die Eingangsspannung auf den zweiten Kanal des Meßgeräts 8 gegeben wird, ein Spannungsteiler 12 geschaltet, der die vom Verstärker 11 gelieferte hohe Spannung entsprechend herunterteilt, damit das Meßgerät 8 nicht beschädigt wird. Der Verstärker 11 hat keinen Einfluß auf die Meßergebnisse. Die Übertragungsfunktion des Spannungsteilers 12 kann vor der Messung geändert werden, um die besten Meßbedingungen realisieren zu können, weil der Verstärkungsfaktor fest bzw. stufig ist. Ansonsten ist die Funktionsweise der Schalteranordnung nach Fig. 3 gleich der nach Fig. 2.

In Fig. 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel dargestellt. Dieses Beispielsystem enthält keinen Spannungsteiler, damit die Struktur des Meßsystems vereinfacht werden kann. Der Einfluß des Verhältnisses vom Verstärker 11 auf die Meßergebnisse wird durch die Eigenkalibrierung kompensiert. Hier ist die Schalteranordnung 3 als digitale Schaltung zum Beispiel als Multiplexer ausgebildet.

Die dargestellten Schaltungsanordnungen können diskret aufgebaut werden, es ist jedoch auch möglich, daß sie zum Bestandteil einer integrierten Schaltung gemacht werden, so daß ein Chip, das das Meßobjekt 1 umfaßt, eine "Built-in"-Prüfschaltung zur Messung der Impedanz mit Eigenkalibrierung aufweist. Dabei kann die Schaltungsanordnung 3 beispielsweise als logische Schaltung aufgebaut sein.

#### Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zur Impedanzmessung elektrischer Komponenten und analoger Schaltungen als Meßobjekt mit einem Signalgenerator zur Erzeugung einer Eingangsspannung, mit der das Meßobjekt gespeist wird, einem Strom-/Spannungswandler, der den durch das Meßobjekt fließenden Strom in eine Ausgangsspannung umwandelt und einer Meß-, Steuer- und Auswertevorrichtung, die die Ausgangsspannung erfaßt und abhängig von dieser die Impedanz bestimmt, **dadurch gekennzeichnet**, daß in Reihe mit dem Meßobjekt (1) über eine Schalteranordnung (3) eine Referenzimpedanz (4) geschaltet ist, wobei die Schalteranordnung (3) einerseits die Referenzimpedanz (4) mit dem Meßobjekt (1) verbindet und andererseits das Meßobjekt überbrückt.
2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Referenzimpedanz (4) ein reeller Widerstand ist.
3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Strom-/Spannungswandler (7) ein reeller Widerstand ist.
4. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Meßobjekt (1) ein elektrokeramisches, elektrisches Bauelement oder eine elektrische Baugruppe ist.
5. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Meß- und Auswertevorrichtung (8, 9) die Impedanz bei überbrücktem Meßobjekt (1) bestimmt und diese bei der Auswertung für die Impedanz des Meßobjekts (1) berücksichtigt.
6. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Meßvorrichtung (8) die Eingangsspannung mißt.
7. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß für die Bestimmung der Impedanz des Meßobjekts (1) die Ausgangs- und/oder die Eingangsspannung einer diskreten Fourieranalyse unterzogen wird.
8. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Signalgenerator (2) ein Verstärker (11) zugeordnet ist.
9. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schalteranordnung (3) als logische Schaltung ausgebildet ist.
10. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schalteranordnung (3) von der Meß-, Steuer- und Auswertevorrichtung (8, 9) steuerbar ist.
11. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie zusammen mit dem Meßobjekt (1) in einer integrierten Schaltung oder auf einem Chip integriert ist.
12. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Referenzimpedanz (4) gleichzeitig als Schutzwiderstand für die Meß-, Steuer- und Auswertevorrichtung bei fehlerhaftem Meßobjekt dient.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

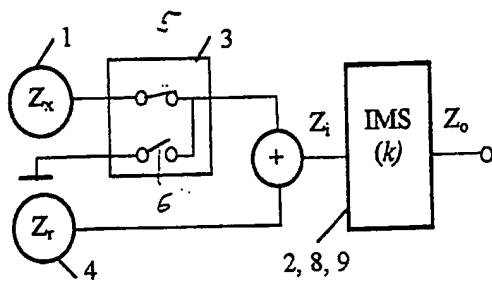


Fig 1

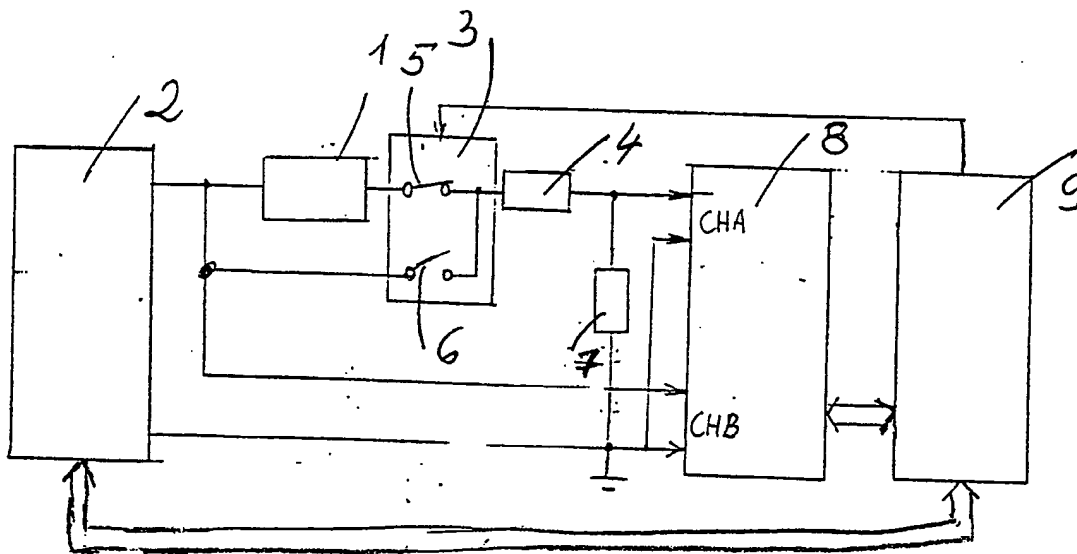


Fig. 2

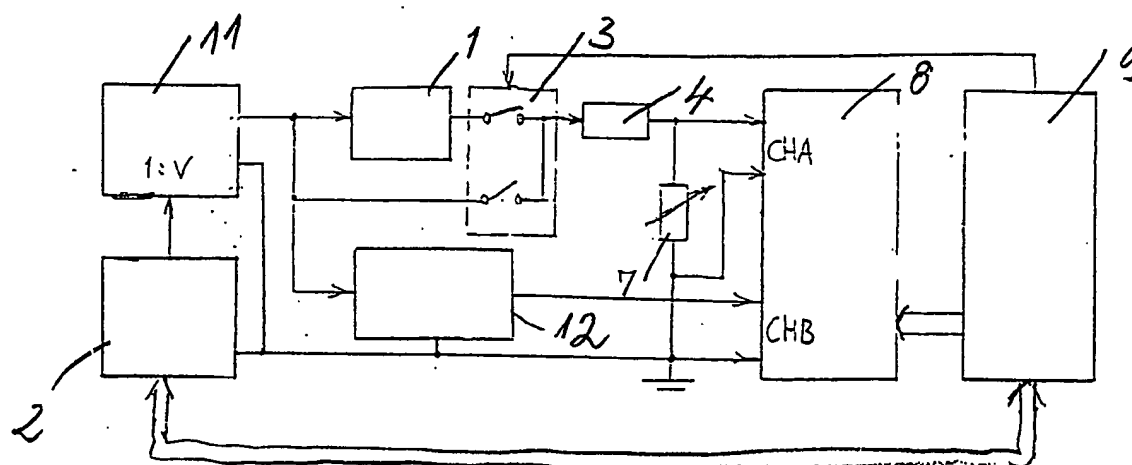


Fig. 3

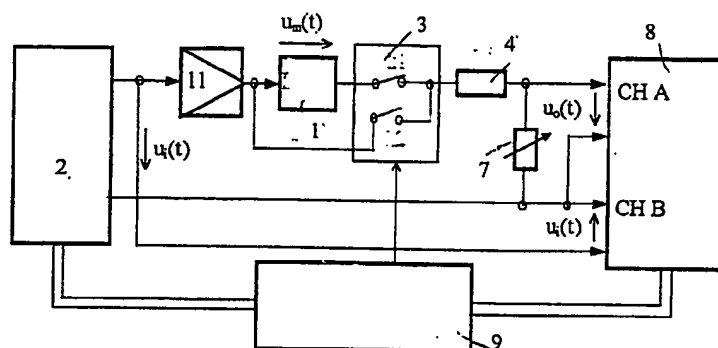


Fig. 4